

نمذجة أداء مبخر أنبوبي أفقي باستخدام برنامج EES

د. م. سهيل مرشدة⁽¹⁾

الملخص

تم خلال الدراسة نمذجة أداء مبخر أنبوبي أفقي وذلك من أجل وسائط تبريد مختلفة (R-22, R134-a, R-12, Ammonia) حيث تم الاستفادة من الامكانيات البرمجية لبرنامج EES في دراسة كيفية تغير البارامترات التصميمية المختلفة للمبخر (مساحة سطح التبادل الحراري - عدد الأنابيب الكلي) بتغير مجموعة من العوامل (الحمل الحراري - فرق درجات الحرارة بين الدخول والخروج - المقاومة الحرارية للأنابيب المستخدمة). وقد بينت الدراسة بأن استخدام الأمونيا كوسيط تبريد يوفر في عدد الأنابيب الكلي المستخدم في المبخر وبالتالي يخفف من التكلفة الاقتصادية الإجمالية للمبخر.

الكلمات المفتاحية: الحمل الحراري، العدد الكلي للأنابيب، سرعة جريان المحلول الملحي، عدد نوسل، المقاومة الحرارية للأنابيب

⁽¹⁾ أستاذ مساعد في قسم هندسة الميكانيك العام - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

Performance Simulation of a Horizontal Shell Tube Evaporator using EES

Dr.Eng.Suheil Marche⁽¹⁾

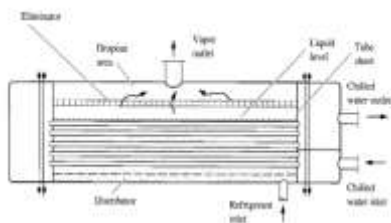
Abstract

A performance simulation study has been conducted for a shell tube evaporator for different refrigerants (R-22,R-134a,R-12,Ammonia), where EES software has been used in order to investigate of the effect of changing different design parameters (Heat Load, Temperature Difference between Inlet and Outlet for the saline solution, Heat Resistance for Tubes, Velocity of the saline solution) on the geometrical parameters of the evaporator (Heat Exchange Total Area, Total Number of Tubes). The study showed that the use of Ammonia as a refrigerant would decrease the total number of tubes and decrease the total cost of the evaporator.

Key Words: Heat Load, Total Number of Tubes, Saline Solution Velocity, Nusselt Number, Heat Resistance of Tubes.

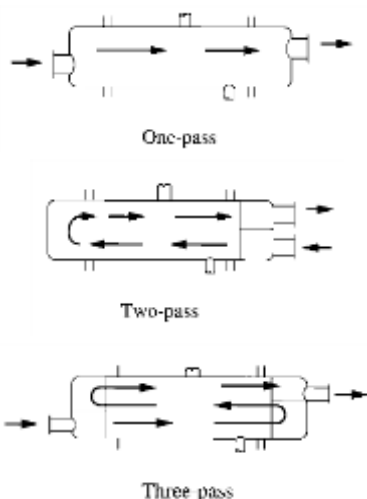
⁽¹⁾ Professor at the Mechanical Engineering Department- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering- Damascus University.

1- المقدمة:



الشكل (1) الأجزاء الرئيسية للمبخر

يتم التحكم بجريان وسيط التبريد ضمن المبخر بشكل يسمح بالتخفيف من الحجم الاجمالي للمبخر وذلك من خلال تمرير وسيط التبريد على الأنابيب بشكل يسمح له بالانتقال على الأنابيب عبر عدة أشواط كما هو مبين بالشكل 2.



الشكل (2) طرق جريان وسيط التبريد ضمن المبخر

2- الحسابات النظرية:

تم باستخدام برنامج EES القيام بالحسابات النظرية الخاصة بدراسة أداء المبخر الأنبوبي لدى عمله على كل من الأمونيا والفيروونات. تم اجراء الدراسات على المحلول الملحي CaCl₂ والذي يتمتع بالموصفات التالية:

1232	الكثافة ρ_s [kg/m ³]
2.91	السعة الحرارية C_s [kJ/kg.K]
0.485	معامل التوصيل الحراري [W/m.K]
4.125e-6	اللزوجة الحركية ν_s [m ² /s]
30.5	عدد براندل Pr_s

تعتبر المبخرات أحد أهم الأجزاء الرئيسية في دارات التبريد الضاغطة البخارية حيث تعتمد على مبدأ غليان لوسيط التبريد على حساب تبريد وسيط تبريد آخر، وتمتلك المبخرات العديد من التطبيقات الهندسية والصناعية، وتقسم تبعاً لطبيعة الوسط الذي يتم تبريده الى قسمين رئيسيين وهما:

- مبخرات تقوم بتبريد وسيط تبريد ثانوي وهي بدورها تقسم الى:
 - مبخرات أنبوبية صندوقية من نوع الغمر.
 - مبخرات غمر صفائحية.
 - مبخرات أنبوبية صندوقية يتم فيها الغليان داخل الأنابيب.
- مبخرات تقوم بامتصاص الحرارة من الهواء مباشرة وتقسم الى:
 - مبخرات هوائية قسرية حيث تتم فيها حركة الهواء بشكل قسري.
 - مبخرات هوائية هادئة حيث تتم فيها حركة الهواء بشكل طبيعي.

تعتبر المبخرات العاملة على مبدأ الغمر الأكثر استخداماً في دارات التبريد الكبيرة، لذا فقد كان لدراسة أداء هذه المبخرات أهمية كبيرة لما يمكن أن يسببه تحسين الأداء من توفير ملحوظ في التكلفة الاقتصادية اللازمة لإنشاء المبخر. تعتمد مبخرات الغمر في عملها على غليان وسيط التبريد والذي يكون على شكل سائل عند ضغط ودرجة حرارة منخفضتين، حيث يؤدي مرور وسيط التبريد على مجموعة من الأنابيب الى تبخر وسيط التبريد عند درجة حرارة ثابتة وحدث انخفاض في درجة حرارة الوسط الذي يتم تبريده، ويبين الشكل 1 الأجزاء الرئيسية المكونة لمبخر يعمل على تبريد الماء،

يحتوي هذا التابع على الأمر البرمجي IF حيث يقوم البرنامج بحساب قيمة عدد نوسل تبعاً لعدد رينولدز وفقاً للمعادلات التالية:

$$Nu = 0,021 * Re_s^{0.8} * Pr_s^{0.43}$$

وذلك من أجل عدد رينولدز $Re > 10000$

$$Nu = 0,021 * Re_s^{0.8} * Pr_s^{0.43} * \epsilon_n$$

وذلك من أجل عدد رينولدز $Re < 10000$

2- تابع معامل التصحيح ϵ_n :

بالنسبة لمعامل التصحيح ϵ_n فقد تم وضع تابع خاص لإجراء الحسابات والتقريب لقيم ϵ_n من الجدول التالي:

ϵ_n	Re
0.4	2500
0.57	3000
0.72	4000
0.81	5000
0.88	6000
0.96	8000
1	10000

Function e_n(Re_s)

```

if (Re_s >= 2500) and (Re_s <= 3000) then
e_n := 0.57 - ((0.57 - 0.4) * (3000 - Re_s) / (3000 - 2500))
endif
if (Re_s > 3000) and (Re_s <= 4000) then
e_n := 0.72 - ((0.72 - 0.57) * (4000 - Re_s) / (4000 - 3000))
endif
if (Re_s > 4000) and (Re_s <= 5000) then
e_n := 0.81 - ((0.81 - 0.72) * (5000 - Re_s) / (5000 - 4000))
endif
if (Re_s > 5000) and (Re_s <= 6000) then
e_n := 0.88 - ((0.88 - 0.81) * (6000 - Re_s) / (6000 - 5000))
endif
if (Re_s > 6000) and (Re_s <= 8000) then
e_n := 0.96 - ((0.96 - 0.88) * (8000 - Re_s) / (8000 - 6000))
endif
if (Re_s > 8000) and (Re_s <= 10000) then
e_n := 1 - ((1 - 0.96) * (10000 - Re_s) / (10000 - 8000))
endif
end
    
```

في بداية الحسابات تم الافتراض بأن الفرق في درجات حرارة دخول وخروج المحلول الملحي من المبخر مساوي إلى $(3.5C^{\circ})$ وبمعرفة درجة حرارة التجمد للمحلول الملحي والتي تساوي $T_f = 256[K]$ يمكن حساب درجة حرارة تبخر وسيط التبريد من خلال العلاقة:

$$T_0 = T_f + 10$$

وبمعرفة قيمة درجة حرارة التبخر يمكن معرفة الضغط في المبخر وذلك بالاستفادة من المكتبات المتوفرة في برنامج EES وتتغير قيمة الضغط تبعاً لنوع وسيط التبريد المستخدم، ومن خلال درجة حرارة التبخر يمكن حساب درجة حرارة خروج المحلول الملحي T_{s2} من خلال المعادلة:

$$T_{s2} = T_0 + \Delta t$$

حيث Δt تمثل الفرق بين درجة حرارة خروج المحلول الملحي ودرجة حرارة التبخر وتتبع هذه القيمة بشكل أساسي لمساحة سطح التبادل الحراري وعدد الأنابيب والمقاومة الحرارية لأنابيب المبخر وقد تم افتراض هذه القيمة مساوية إلى $(5C^{\circ})$ وبالتالي أصبح من الممكن حساب قيمة درجة حرارة دخول المحلول الملحي والتي تساوي:

$$T_{s1} = T_{s2} + \Delta t_s$$

بعد إجراء الحسابات المتعلقة بتحديد البارامترات الناظمة لكل من المحلول الملحي ووسيط التبريد فقد تم ادخال الأوامر البرمجية الخاصة بالحسابات المتعلقة بحسابات عدد نوسل والتي تميز أداء المبخر بشكل أساسي. وقد تم تعريف مجموعة من التوابع Functions التي تساعد في تسهيل كتابة البرنامج.

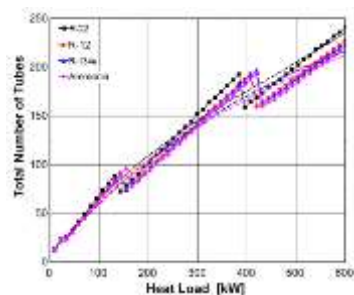
1-2- تابع عدد نوسل:

```

Function Nu_s(Re_s, e_l, e_n, Pr_s)
if (Re_s >= 10000) then
Nu_s := 0.021 * Re_s^0.8 * Pr_s^0.43 * e_l
endif
if (Re_s > 2000) and (Re_s < 10000) then
Nu_s := 0.021 * Re_s^0.8 * Pr_s^0.43 * e_n
endif
end
    
```

3- النتائج:

عند كل قيمة للحمل الحراري وذلك لكل من وسائط التبريد المستخدمة .



الشكل (4) تأثير الحمل الحراري على عدد الأنابيب الكلي.

الأمونيا:

$$N_t = 10.86 + 0.52 * Q - 0.00031 * Q^2$$

:R-134a

$$N_t = 9.87 + 0.53 * Q - 0.00031 * Q^2$$

:R-12

$$N_t = 13.65 + 0.52 * Q - 0.00027 * Q^2$$

:R-22

$$N_t = 11.164 + 0.52 * Q - 0.00029 * Q^2$$

حيث:

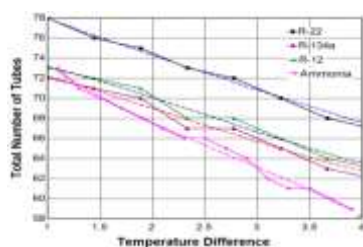
N_t - العدد الكلي للأنابيب.

Q - الحمل الحراري [kW]

3-3- تأثير الفرق بين درجات حرارة دخول وخروج

المحلول الملحي المستخدم على العدد الكلي للأنابيب:

يبين الشكل 5 بأن زيادة الفرق بين درجات حرارة دخول وخروج المحلول الملحي يؤدي الى انخفاض في العدد الكلي للأنابيب وتتمتع المبخرات العاملة على الأمونيا بالعدد الأقل من الأنابيب عند فروق درجات حرارة أعلى من 1.5 بينما تمتلك المبخرات العاملة على وسيط التبريد

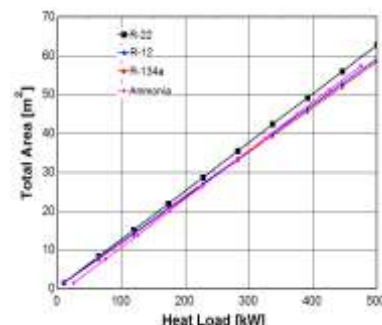


الشكل (5) تأثير الفرق بين درجة حرارة دخول وخروج المحلول الملحي

على عدد الأنابيب الكلي.

3-1- تأثير الحمل الحراري على سطح التبادل الحراري:

تبين النتائج الموضحة بالشكل 3 بأن مساحة سطح التبادل الحراري اللازمة تزداد بزيادة الحمل الحراري بشكل خطي ومن خلال نمذجة أداء المبادل الحراري من أجل وسائط

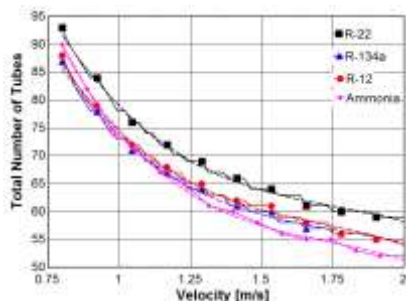


الشكل (3) تأثير الحمل الحراري على مساحة التبادل الحراري.

تبريد مختلفة فقد تبين بأن مساحة سطح التبادل الحراري اللازمة من أجل المبخرات العاملة على الأمونيا تعتبر الأقل عند قيم للحمل الحراري لا تتجاوز 300 kW بينما تكون القيم الأدنى لمساحة سطح التبادل الحراري عند أحمال حرارية أعلى من 300 kW من أجل المبخرات العاملة على وسيط التبريد R-134a بينما يؤدي استخدام وسيط التبريد من النوع R-22 الى زيادة في مساحة التبادل الحراري اللازمة.

3-2- تأثير الحمل الحراري على العدد الكلي للأنابيب:

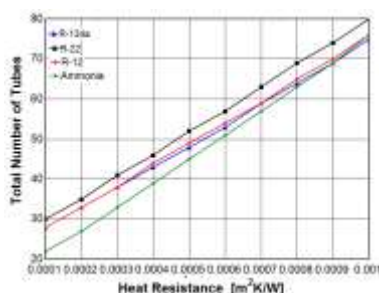
كما هو مبين بالشكل 4 فإن زيادة الحمل الحراري تؤدي الى زيادة في عدد الأنابيب وتمتلك المبخرات العاملة على الأمونيا العدد الأقل من الأنابيب، كما ويوضح الشكل بأن تغيير وسيط التبريد عند الأحمال الحرارية المنخفضة (أقل من 100kW) لا يؤثر بشكل كبير على عدد الأنابيب. ومن خلال برنامج EES تم الحصول على المعادلات التقريبية التالية التي تساعد في الحصول على عدد الأنابيب اللازم



الشكل (6) تأثير سرعة جريان المحلول الملحي على عدد الأنابيب الكلي.

3-5- تأثير المقاومة الحرارية للأنابيب على العدد الكلي للأنابيب:

يبين الشكل 7 بأن زيادة المقاومة الحرارية للأنابيب (أي استخدام أنابيب ذات معامل توصيل حراري منخفض)



الشكل (7) تأثير نوع معدن الأنابيب على عدد الأنابيب الكلي.

يؤدي الى زيادة في العدد الكلي للأنابيب، وتتمتع المبخرات العاملة على الأمونيا بقيمة منخفضة لعدد الأنابيب من أجل نفس نوعية الأنابيب المستخدمة، كما يبين الشكل تطابق في سلوك كل من المبخرات العاملة على وسيط التبريد R-134a و R-12.

4- التوصيات:

توضح نتائج الدراسة بأن:

- المبخرات العاملة على الأمونيا هي الأقل تكلفة من الناحية الهندسية (أي من ناحية مساحة سطح التبادل الحراري الكلي والعدد الكلي للأنابيب).

R-134a العدد الأدنى من الأنابيب عند فروق درجات حرارة أقل من 1.5، كما يوضح الشكل بأن فعالية استخدام الأمونيا تزداد بزيادة فروق درجات الحرارة حيث يصبح عدد الأنابيب اللازمة للمكثفات العاملة على الأمونيا مساويا 61 أنبوب عند فرق درجات حرارة 3.5 بينما تحتاج المبخرات العاملة على وسيط التبريد R-22 الى 69 أنبوب أي أن نسبة التخفيض تصل الى 12%. بالاستفادة من برنامج EES تم إيجاد المعادلات التقريبية النازمة لكيفية حساب عدد الأنابيب بدلالة درجة الحرارة:

الأمونيا:

$$N_t = 77.84 - 6.51\Delta T + 0.89\Delta T^2 - 0.088\Delta T^3$$

R-134a:

$$N_t = 74.87 - 2.2 * \Delta T - 0.53 * \Delta T^2 + 0.08 * \Delta T^3$$

R-12:

$$N_t = 75.21 - 1.32 * \Delta T - 0.84 * \Delta T^2 + 0.11 * \Delta T^3$$

R-22:

$$N_t = 81.89 - 4.1 * \Delta T + 0.16 * \Delta T^2 - 0.007 * \Delta T^3$$

حيث: ΔT - الفرق بين درجة حرارة دخول وخروج

المحلول الملحي.

3-4- تأثير سرعة جريان المحلول الملحي على العدد الكلي للأنابيب:

يبين الشكل 6 بأن زيادة سرعة الجريان يؤدي إلى تناقص عدد الأنابيب اللازمة ضمن المبخّر المدروس ويتبين بأن عدد أنابيب المبخرات العاملة على الأمونيا تكون ذات القيمة الأدنى عند قيم لسرعة الجريان أكبر من 1[m/s]، وتتمتع المبخرات العاملة على وسيط التبريد R-134a بقيمة منخفضة لعدد الأنابيب وذلك عند سرعة جريان أقل من 1[m/s]، كما ويكون تأثير سرعة الجريان على عدد الأنابيب أكبر في مجالات السرعة المنخفضة (أصغر من 1.25 [m/s]) بينما يصبح تأثير السرعة على عدد الأنابيب صغيرا في مجالات السرعة المرتفعة (أكبر من 1.75 [m/s]).

5- المراجع: REFERENCES

- [1] Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, Shan K.Wang, 2nd Edition 2000
 [2] EES (Engineering Equation Solver) Manual.
 [3] холодильные машины, Н.Н Кошкин, И,А,Сақун, 1985
 [4] теплообменные аппараты холодильных установок , Г.И,Данилова, С. И.Богданов,О.П Иванов, Н. М.Медникова , Э.И.Крамской.1986.
 [5] тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин , Е .М .Бамбушек, Н.Н.Бухарин ,..., 1987

- [6] هندسة التبريد الجزء الأول -الدكتور نديم عابد مخيبر -
 الدكتور علي عيسى -منشورات جامعة دمشق 2008

Received	2018/05/23	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2018/09/27	قبول البحث للنشر

- تعتبر المبخرات العاملة على وسيط التبريد R-134a هي المبخرات ذات الأداء الأقرب من أداء المبخرات العاملة على الأمونيا وتتفوق عليها في مجالات سرعات الجريان المنخفضة وعند القيم المنخفضة لفروق درجات حرارة الدخول والخروج للمحلول الملحي المدروس.
- يتطابق أداء المبخرات العاملة على وسيط التبريد R-12 و R-134a حيث يكون الفرق في المساحات المطلوبة للتبادل الحراري والأنابيب اللازمة منخفضة.
- تعتبر المبخرات العاملة على وسيط التبريد R-22 الأقل اقتصادية من الناحية الهندسية حيث تحتاج الى مساحات تبادل حراري وعدد أنابيب مرتفعة بالمقارنة مع المبخرات العاملة على الأمونيا أو R-134a.